

ТРЕХТРАНСФОРМАТОРНЫЕ ПОДСТАНЦИИ

Л.С. Араратьян, А.В. Крупнов, А.С. Шестаков

В настоящее время для обеспечения электроэнергией потребителей первой и второй категории надежности электроснабжения используют двухтрансформаторные подстанции [1], но в таких подстанциях существует проблема низкого коэффициента загрузки трансформаторов. В некоторых случаях фактическая нагрузка трансформаторов много ниже расчетной и для обеспечения электроэнергией потребителей с двух шин достаточно одного трансформатора, однако вывод из работы одного трансформатора недопустим из-за снижения надежности электроснабжения. При проектировании подстанции необходимо предусматривать возможность технического обслуживания трансформатора и коммутационного оборудования, а также обеспечить бесперебойное электроснабжение в аварийном режиме.

Проектирование новых подстанций

На подстанциях (ПС) возможны режимы, в которых один из трансформаторов по какой-либо причине выведен из работы, а оставшийся обеспечивает потребителей электроэнергией в состоянии перегрузки. При этом она не должна превышать максимально допустимый коэффициент аварийной перегрузки трансформатора, получаемый по [2]. Исходя из этого условия, в нормальном режиме работы двухтрансформаторной ПС нагрузка трансформатора равна половине коэффициента перегрузки [3].

Если при проектировании ПС использовать три трансформатора, то при отключении одного трансформатора каждый из двух оставшихся работает с коэффициентом аварийной перегрузки. В нормальном режиме работы распределение этой нагрузки осуществляется на три трансформатора. Таким образом, на трехтрансформаторной ПС коэффициент загрузки больше, чем на двухтрансформаторной.

Проанализируем коэффициент загрузки двух- и трехтрансформаторных ПС с масляными трансформаторами.

Выбор мощности трансформатора, МВА, осуществляется по формулам

$$S_T \geq \frac{S_{\text{расч}}}{(N-1) \cdot K_{\text{п}}} \text{ или } S_T \geq \frac{S_{\text{расч}}}{N \cdot k} \quad (1)$$

где N – количество трансформаторов; $S_{\text{расч}}$ – расчетная мощность подстанции, МВА; $K_{\text{п}}$, K_3 – предполагаемый коэффициент перегрузки и загрузки трансформатора.

Фактический коэффициент загрузки трансформатора, МВА, при этом

$$K_{3.ф} = \frac{S_{РАСЧ}}{N \cdot S} \quad (2)$$

Выразим из формулы (2) мощность трансформатора и подставим в формулу (1):

$$\frac{S_{РАСЧ}}{(N-1) \cdot K_{\Pi}} = \frac{S_{РАСЧ}}{N \cdot K_3}, \quad K_3 = \frac{(N-1) \cdot K_{\Pi}}{N} \quad (3)$$

Коэффициент аварийной перегрузки для масляного трансформатора равен 1,4 независимо от системы охлаждения при температуре окружающей среды 20 °С [2]. Коэффициенты загрузки двух- и трехтрансформаторных ПС по (3) соответственно:

$$K_3 = \frac{(2-1) \cdot 1,4}{2} = 0,7; \quad K_3 = \frac{(3-1) \cdot 1,4}{3} = 0,93. \quad (4)$$

Как видно из (4), в трехтрансформаторной ПС в нормальном режиме работы трансформатор нагружен на 23 % больше.

Эксплуатация трех трансформаторов вместо двух более мощных снижает токи короткого замыкания и в некоторых случаях позволяет отказаться от токоограничительных реакторов и трансформаторов с расщепленной обмоткой [3].

Реконструкция подстанций

С увеличением нагрузки на трансформаторные ПС, в некоторых случаях требуется замена трансформаторов на более мощные, так как в аварийном режиме один трансформатор не обеспечит бесперебойное электроснабжение всех потребителей. Для того чтобы снизить капитальные затраты при реконструкции двухтрансформаторной ПС, не меняя трансформаторы, возможно повысить загрузку (вплоть до единицы), при этом в аварийном режиме второй трансформатор будет работать с коэффициентом перегрузки свыше допустимого. Для предотвращения этой перегрузки необходимо часть нагрузки передать на третий трансформатор, который находится в горячем резерве. Его мощность выбирается исходя из коэффициента загрузки трансформатора в нормальном режиме и типа трансформатора.

Проанализируем работу реконструированной ПС с масляными трансформаторами при загрузке трансформаторов до единицы в аварийном режиме. В этом режиме загрузка одного из трансформаторов K_3 равна 2, что совершенно недопустимо для трансформаторов с системой охлаждения ДЦ и Ц. При максимально возможном коэффициенте перегрузки $K_{\Pi} = 1,4$, т.е. 60 % нагрузки необходимо отключить или перенаправить на третий трансформатор, который тоже может иметь коэффициент перегрузки $K_{\Pi} = 1,4$.

Таким образом, возможно повышение мощности ПС на 60 % без замены имеющихся трансформаторов посредством повышения коэффициента загрузки и установки третьего трансформатора, если такая возможность была заложена при строительстве ПС.

В некоторых случаях фактическая нагрузка двухтрансформаторной ПС много ниже расчетной и для обеспечения электроэнергией потребителей достаточно одного

трансформатора, однако вывод из работы одного трансформатора недопустим из-за снижения надежности электроснабжения. Трехтрансформаторная ПС позволяет без снижения надежности вывести из работы один трансформатор и тем самым сократить потери электроэнергии от холостого хода. Также возможен вывод и ввод в работу третьего трансформатора в зависимости от графика нагрузки.

В статье [3] рассматривается этот вопрос и представлены некоторые сравнения, а именно токов короткого замыкания, стоимости распределительного устройства низкой стороны ПС (6–10 кВ) и графиков годовых потерь электроэнергии для двух- и трехтрансформаторных ПС.

Для сопоставления двух- и трехтрансформаторной ПС определим соотношение мощностей трансформатора:

$$2 \cdot X \cdot 0,7 = 3 \cdot Y \cdot 0,93,$$

где X, Y – мощность одного трансформатора двух- и трехтрансформаторных ПС соответственно.

Получаем:

$$X = 1,993 \cdot Y,$$

а это значит, что трансформаторы на двухтрансформаторной ПС должны быть примерно в два раза мощнее, чем на трехтрансформаторной.

Проведем сопоставление ПС на напряжение 110/35/10. Для такого напряжения самые подходящие трансформаторы – ТДТН-40000/110 и ТДТН-80000/110. Оптимальной нагрузкой будет для ПС 111 МВА, с которой получаем коэффициенты загрузки и перегрузки трансформаторов:

$$\text{двухтрансформаторная ПС: } K_3 = \frac{111}{2 \cdot 80} = 0,694; \quad K_{\Pi} = \frac{111}{1 \cdot 80} = 1,387;$$

$$\text{трехтрансформаторная ПС: } K_3 = \frac{111}{3 \cdot 40} = 0,925; \quad K_{\Pi} = \frac{111}{2 \cdot 40} = 1,387.$$

Для сопоставления активных потерь воспользуемся формулой

$$\Delta P_T = \Delta P_{\text{НАГР}} + \Delta P_{\text{ХХ}} = \frac{S_{\text{НН}}^2 \cdot \Delta P_{\text{КН}} + S_{\text{СН}}^2 \cdot \Delta P_{\text{КС}} + S_{\text{ВН}}^2 \cdot \Delta P_{\text{КВ}}}{N \cdot S_T^2} + N \cdot \Delta P_{\text{ХХ}}, \text{ кВт},$$

где $S_{\text{НН}}, S_{\text{СН}}, S_{\text{ВН}}$ – нагрузка подстанции со стороны шин низшего, среднего и высшего напряжения соответственно, МВА; S_T – номинальная мощность трансформаторов, МВА; $\Delta P_{\text{К}}, \Delta P_{\text{ХХ}}$ – потери мощности короткого замыкания и холостого хода соответственно, кВт; N – количество трансформаторов.

На рис. 1 представлена зависимость потерь активной мощности от полной передаваемой мощности S через трансформаторы. На рис. 2 представлена зависимость отношения потерь активной мощности к фактической передаваемой активной мощности $\Delta P_T / P_{\Phi}$ от полной передаваемой мощности S . По графикам (рис. 1, 2) видно, что при загрузке трансформаторов ПС мощностью 111 МВА двухтрансформаторная ПС экономичнее по потерям трехтрансформаторной на 111,53 кВт, а это на 23 % меньше активных потерь трехтрансформаторной ПС. В зависимости от графика нагрузки можно отключать один трансформатор на трехтрансформаторной ПС. На рис. 1

возможность поэтапного развития ПС (это особенно актуально, когда присутствует неопределенность в росте нагрузки и имеется тенденция к ее завышению).

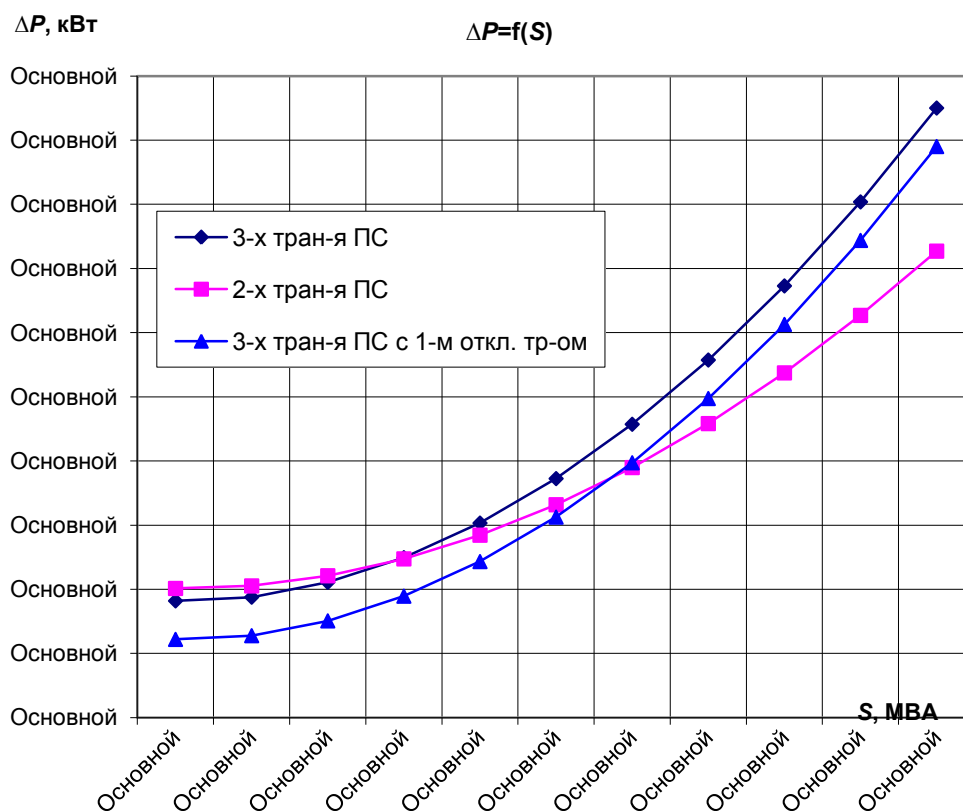


Рис. 1. Зависимость потерь активной мощности от полной передаваемой мощности

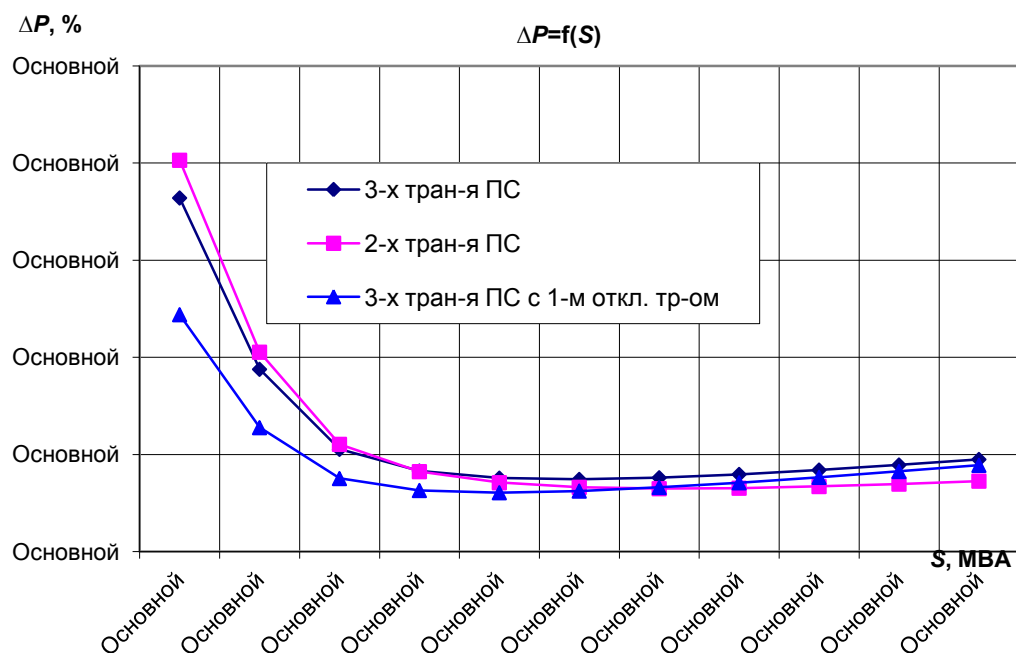


Рис. 2. Зависимость отношения потерь активной мощности

к фактической передаваемой активной мощности от полной передаваемой мощности

К недостаткам этих ПС относятся:

отсутствие типовых схем главных электрических соединений;

удорожание стоимости оборудования на высшем напряжении;

усложнение оперативных переключений;

повышение потерь электроэнергии.

Как сказано в [1], применение трехтрансформаторных ПС должно быть подтверждено технико-экономическим расчетом. Такие подстанции целесообразно применять при наличии крупных сосредоточенных электрических нагрузок, при необходимости выделения питания крупных резкопеременных нагрузок на отдельные трансформаторы, для цехов и предприятий со значительным количеством электроприемников особой группы I категории и электроприемников категории, к питанию которых предъявляются повышенные требования в отношении надежности.

Для расширения области применения трехтрансформаторных ПС, которые обладают рядом преимуществ, необходимо, прежде всего, разработать и утвердить типовые схемы главных электрических соединений.

Библиографический список

1. СТО 56947007-29.240.10.028-2009. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35–750 кВ (НТП ПС). URL: <http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/56947007-29.240.10.028-2009.pdf> (дата обращения: 29.01.2016).

2. ГОСТ 14209-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые перегрузки. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-14209-85> (дата обращения: 29.01.2016).

3. Малкин, П.А. Применение трехтрансформаторных подстанций 110 кВ для обеспечения надежного электроснабжения потребителей / П.А. Малкин // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Вып. 61. Проблемы исследования и обеспечения надежности либерализованных систем энергетики / отв. ред. Н.И. Воропай, А.Д. Тевяшев. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2011. С. 79–82.

4. Зайцев, В.А. Ограничение тока нагрузки при параллельной работе трансформаторов с разными коэффициентами трансформации / В.А. Зайцев, О.А. Зайцева // Вестник ТвГТУ. Тверь: ТвГТУ, 2015. № 2 (28). С. 31–34.